

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Ochrana životního prostředí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Objevování Darwina

Rediscovery of Darwin

Vedoucí: Doc. Ing. Mgr. Jan Frouz, CSc.

Zpracovatel: Linda Poklopová

Praha 2010

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá významem Darwinovy knihy *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on their Habits* pro dnešek. Popisné pasáže a práce o morfologii jsou často zmiňovány v pracích následníků, i když často spíše jako historická kuriozita. Největší okamžitý a setrvalý zájem vyvolaly úvahy o chování žížal. Soubor úvah o promíchávání půd žížalami vedl k okamžité odezvě v podobě prací všímajících si rozšíření žížal, a dále pak významu promíchávání půdy pro archeologii. Myšlenky týkající se vlivu promíchávání na formování půd a jejich úrodnost se dočkaly menšího ohlasu. Zcela zapadnuta pak zůstala myšlenka o vlivu bioturbace na krajinné úrovni, která prožívá svou renesanci teprve nyní v podobě prací publikovaných na sklonku minulého a začátku tohoto století.

Klíčová slova: bioturbace, Darwin, denudace, žížala

Abstract

This bachelor thesis focuses on Charles Darwin's *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on their Habits* and its impact on contemporary science. Descriptive parts and sections about morphology have been frequently mentioned in the literature, however, most often as a historical curiosity. Major immediate impact and lasting interest was sparked by thoughts about the behavior of earthworms. Ideas about mixing of soil by worms instigated the publication of scholarly papers analyzing the distribution of earthworms and the importance of soil mixing for archaeology. Ideas related to the impact of mixing on soil formation and its fertility received much less attention. Hypotheses about the impact of bioturbation on landscape level were largely ignored, only to be rediscovered and further explored at the end of the last century and the beginning of the current one.

Key words: bioturbation, Darwin, denudation, earthworm

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Doc. Ing. Mgr. Janu Frouzovi, CSc. za vedení práce a cenné konzultace.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením Doc. Ing. Mgr. Jana Frouze, CSc. a s použitím citované literatury.

V Praze, červen 2010

.....

Linda Poklopová

Obsah

Abstrakt	2
Abstract	2
Poděkování	3
Prohlášení	4
Obsah	5
1. Úvod	6
2. Stručný obsah knihy <i>The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on their Habits</i> ve světle dnešních poznatků	8
2.1. Zvyky žížal	8
2.2. Zvyky – pokračování	10
2.3. Objem zeminy vynášený žížalami na povrch	12
2.4. Role žížal při zasypávání starověkých staveb	14
2.5. Role žížal při denudaci půdy	15
2.6. Denudace půdy – pokračování	16
2.7. Shrnutí	17
3. Reakce na Darwinovu knihu	18
3.1. Reakce historické, krátce po vyjití knihy	18
3.2. Současné reakce na Darwinovu knihu	22
3.3. Bioturbace	27
4. Závěry	31
5. Literatura	32

1. Úvod

Charles Darwin byl jedním z přírodovědců, kteří zásadním způsobem ovlivnili vývoj celého oboru. Ostatně i dnes patří Darwinovo dílo k vysoce citovaným pracím a jen v loňském roce udává *Web of Science* 578 citací pro práci Charlese Darwina *On the Origin of Species* a 39 citací pro práci *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on their Habits*. V roce 1837 Charles Darwin navštívil svého strýce Josiaha Wedgwooda. Wedgwood ho vzal na několik polí, která byla před patnácti lety pokryta vápencem, páleným mramorem a sopečnou škvárou. Tento materiál se nyní nacházel ve značné hloubce pod povrchem a jeho strýc věřil, že za to mohou žížaly. Wedgwood vyslovil hypotézu, že žížaly vynášejí na povrch pohlčenou zeminu ve formě trusu, podhrabávají předměty ležící na povrchu a způsobují jejich pokles (Darwin 1881, str. 8-9). Tato na první pohled „triviální zahradnická záležitost“ (Meysman 2006) podnítila Darwinovu vědeckou zvědavost, která doutnala v průběhu celého jeho života a kulminovala v roce 1881 publikací jeho poslední odborné knihy *On the Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on their Habits*. Hlavním námětem knihy je přetváření půdy, které je dnes známé jako bioturbace a v současné době pod něj zahrnujeme i přetváření sedimentů. Bioturbace zahrnuje aktivitu kořenících rostlin, vliv mikrobiální sféry a vliv hrabajících živočichů. Mezi živočichy, kteří ovlivňují bioturbaci, patří rypši, syslové, pytlonošové, tukotukové, taboni, jezevci, vlci, vombati, hrabáči, pásovcí, mravenečníci či sloni (Johnson 2002). Darwin se zaměřil na úlohu žížal.

Poslední Darwinova kniha byla považována za bestseller, s 3500 výtisky prodanými okamžitě a 8500 během prvních tří let od vydání se rovnala svým komerčním úspěchem jeho nejslavnější knize „O původu druhů“. (Feller et al. 2003, Darwin 1887) Brown et al. (2004) se domnívají, že za úspěchem u veřejnosti stál Darwinův popis chování žížal, část knihy, která byla později vědci označena za přehnanou (intelligence vs. instinkty). Nicméně hlavní sdělení práce se zabývá bioturbací žížal tedy úlohou žížal v promíchávání vertikálních přesunech půdy.

V této práci se pokusím stručně shrnout hlavní myšlenky Darwinovi práce *On the Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on their Habits*. Budu pátrat po ohlasu, který tato kniha měla a doposud má mezi vědeckou komunitou. Budu se zabývat otázkou zda některé části práce mají větší ohlas než části jiné a pokusím se nastítnit, co by mohlo být příčinou těchto rozdílů. Dále se zaměřím na myšlenku, které Darwin věnuje ve své knize nejvíce prostoru, a sice úloha bioturbace (promíchávání půdy půdními organismy) na formování půdy a krajiny. Část věnovaná bioturbaci si klade dva hlavní cíle: a) popsat rozvoj poznatků o bioturbaci a kriticky zhodnotit její úlohu v půdních a krajinných procesech navrženou Darwinem, b) sledování rozvoje této myšlenky v rozsahu více jak sta let nám dává unikátní příležitost sledovat jak je určitá hypotéza v čase vědeckou komunitou rozvíjena. Jedná se spíše o lineární růst, při němž myšlenky, které se z historického pohledu ukáží jako nejperspektivnější přitáhnou okamžitě nejvíce zájmu, jsou nejvíce citovány a rozpracovávány následníky a to vede k souvislému rozvoji daného směru bádání. Nebo je tomu spíše tak že myšlenky, které ihned přitáhnou nejvíce pozornosti se často ukáží jako liché. To vede k poklesu zájmu o celý problém, který může být oživen novými nezávislými objevy nebo dokonce znovuobjevením některých dříve již publikovaných, ale přehlížených skutečností.

2. Stručný obsah knihy *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on their Habits* ve světle dnešních poznatků

Kniha obsahuje 7 kapitol.

2.1. Zvyky žížal

Kapitola pojednává o výskytu jednotlivých druhů žížal, jejich ekofysiologii, ekologii, potravní zvyklosti a výskytu v různých typech stanovišť. V této úvodní kapitole snad nejobsáhleji odkazuje na údaje převzaté od svých předchůdců. Zaměřuje se na skupinu *Lumbricus*. V Británii nebyly zatím pečlivě popsány, jejich pravděpodobný počet je možné odhadnout podle výsledků ze Skandinávie, kde je podle *Eisena* devět druhů. Dva si vzácně stavějí chodbičky a jeden se vyskytuje na velmi vlhkých místech, či dokonce může žít pod vodou. Pro tuto práci jsou důležité pouze druhy, které vynášejí na povrch půdu ve formě exkrementů, tato problematika bude rozebrána v dalších kapitolách.

Žížaly se vyskytují na různých místech (str. 11; je-li odkaz pouze na stránky, nebo kapitolu, bez další specifikace, jedná se o stránky z díla Darwin 1881), o jejich přítomnosti svědčí nalezené exkrementy. Nacházejí se ve všech částech světa, včetně malých ostrovů. (2. kap) Na některých místech se zdají být početnější než na jiných, bez viditelného rozdílu ve vlastnostech půdy. Vyskytují se na úrodných i na živiny chudých půdách. Některé půdy mají ale raději než jiné. (str. 11)

Darwin si podrobně všímá druhu půdy, kde se žížaly vyskytují. Žížaly mají rády vlhkou půdu, černou rašelinu, bažinatou plochu (str. 11). Vyskytují se i pod velkými stromy, kde bývá vlhká půda díky kořenům. (str. 12) V Bengálsku a v jižní Indii o jejich přítomnosti svědčí věžovité výměšky. (2 kap.) Jinak je tomu ve starém bukovém lese, kde je půda zbavena ostatní vegetace, tam se vyskytují pouze na travnatých mýtinách. (str. 12) Je obtížné či dokonce nemožné žížaly najít v sušší hnědé vláknité rašelině, na suchém písčitém místě (str. 11), v pohoří Nového Walesu či v Alpách. V těchto skalnatých oblastech je možný důvod, že si nemohou vyhloubit chodbičky, do kterých by se schovaly před zimou. (str. 12)

Na výskyt žížal reagovalo tři roky po vyjití Darwinovy práce hned několik příspěvků v *Nature*. Udávaly příklad konkrétních míst v různých částech světa, kde se žížaly nevyskytují, zmiňovaly úrodnost půdy v daném místě a případně kteří jiní živočichové tam zastupují jejich funkci. (Christy 1884, Melvin 1884, Wilcox 1884)

Žížaly jsou suchozemská zvířata (str. 12), ve slané vodě umírají. (2. kap) Pokud by však měly strávit noc na suchém vzduchu, nepřežijí. Největší množství exkrementů bylo pozorováno po vydatných podzimních deštích. (str. 12) Po dešti je na některých místech také vidět větší množství mrtvých žížal. Mohou to být nemocní jedinci, u kterých voda urychlila jejich uhynutí. (str.13)

Hodně pozornosti věnoval Darwin smyslovým schopnostem žížal. Reakce žížal na světlo zaujaly pozornost mnoha tehdejších vědců. Jejich reakce závisí na intenzitě a délce trvání. Dle Darwina je citlivá přední část žížaly (str. 15-17). Pokud jsou zaujaté jinou činností např. lezou přes sebe, kopulují, jedí či táhnou list, na světlo téměř nereagují. (str. 22) Méně než na světlo reagují na teplo. Darwin k pokusu použil lehce rozpálený pohrabáč. Za mrazu zůstávají ukryty ve svých chodbičkách. (str. 18) Každé ráno během určitého období uloví ptáci velké množství žížal. Leží blízko ústí své nory, je možné, že tam leží kvůli teplu. (str. 14)

Žížaly jsou noční živočichové (str. 15-17), kromě doby páření jsou přes den ve svých chodbičkách. (str. 12) V noci je možné je vidět ve velkém množství, ale stále mají svou zadní část v chodbičce. (str. 15-17)

Žížaly nereagují na zvuky, Darwin zkoušel píšťalu, fagot, křik a hru na piano. Jsou však citlivé na vibrace. Při hře na piano reagovaly na vibrace při vysokých i nízkých tónech. (str. 18) Při pokusu s krumpáčem se nepotvrdilo tvrzení, že jsou citlivé na chvění země. Celé tělo žížal je citlivé na dotek a také na proud vzduchu. (str. 19)

Čich mají vyvinutý málo, nereagovaly např. na žvýkácký tabák, květinový parfém ani na ocet. Odlišné to bylo s kousky zelí a cibule, při jejich zahrabaní do nádob, ve kterých byly žížaly chovány, našly je a snědly. Naopak při pokusu se zahrabáním kousků syrového masa žížaly během následujících dvou dnů nezareagovaly (str. 20-21), přestože maso jedí. Jsou nejen všežravci, ale také kanibalové. Žížaly dle

Darwina mají chuť, pokud v nádobě rozmístil zelí, listy křenu, cibuli, tuřín, řepu, žížaly projevovaly jasné preference. (str. 19) Dle Darwina mají raději čerstvé maso, v tom se odlišuje od Hoffmeistera (1845). (str. 22-23) Občas snědí zeminu také kvůli živinám, které obsahuje. (kap. 2)

Zmiňuje se o behaviorálních aktivitách žížal, inteligenci a instinktech o čemž pojednává i ve druhé kapitole.

Od vydání Darwinovi knihy doznaly naše faktografické údaje značného rozmachu. Současná kompendia o žížalách, např. Edwards (2004), Hendrix (1995) a Edwards a Bohlen (1996), udávají rozsáhlé údaje o druhovém rozšíření, ekofysiologii, ekologii a potravních zvyklostech žížal. Všechny výše uvedené moderní kompendia se také odvolávají na Darwinovo dílo nicméně spíše v rovině historické zajímavosti, než pramene ze kterého by čerpali fakta.

2.2. Zvyky - pokračování

Druhá kapitola se s první kapitolou v tématech překrývá. Pojednává o chování žížal, o jejich manipulaci s předměty. Obě také pojednávají o inteligenci a instinktech. Věnuje se i dalším zvykům žížal a jejich výskytu.

Byly provedeny pokusy zaměřené na manipulaci žížal s listy a kousky papíru. Darwin zkoumal listy vytažené z žížalích nor. Např. list borovice se skládá ze dvou jehlic a žížaly ho uchopují právě v místě, kde jsou jehlice spojené. Z toho Darwin usuzoval na určitou inteligenci žížal, neboť při tomto způsobu vlečení klade jehlice nejmenší odpor. Aby si ověřil, zda toto chování je vázáno na objekty, se kterými se žížaly setkávali již po dlouhou dobu nebo zda je toto chování odvozeno od tvaru předmětu dělal pokusy s listy v Anglii nepůvodních druhů, rododendronem, se ztupenými jehlicemi, s jehlicemi, které sám slepil dohromady, s řapíkatými listy, a následně též s trojúhelníky nastříhanými z papíru, které natřel z obou stran tukem, aby lépe odolaly vlhkosti. Vyrobil dva různé druhy, více a méně protáhlé. Více než 300 trojúhelníků postupně poházel. Pokud jsou žížaly schopny posoudit jak nejlépe uchopit předmět, musí mít představu jaký má předmět tvar. Na základě výsledků došel k závěru, že žížaly projevují jistý stupeň inteligence. (str. 31-63)

Žížaly si ucpávají vstupy do chodbiček, což je u nich nepochybně instinktivní, toto chování se nemusí učit. Instinktem nemůže být vysvětlen způsob, jakým žížaly zacházejí s listy. Zahrnuje listy rostlin cizích pro jejich přirozené prostředí. (str. 22, 32, 35, 39)

V případě listů, u kterých bylo stejně náročné je táhnout za stopku či špičku, přetrvává u žížal uchopení za špičku, což bylo vysvětleno jako získaný zvyk (str. 37-38). Ucpávání chodbiček je tedy instinkt, způsob jakým to dělají obsahuje prvky inteligence. Inteligence žížal spočívá v jednání na základě tvarů předmětů, ještě časem získají zvyk, podle kterého se mají tendenci chovat. Přiměla ho k tomu manipulace s listy v Anglii nepůvodních druhů a s papírovými trojúhelníky. (str. 35-48) Některé činnosti dělají instinktivně: vyměšování, lemování nor kamínky, ucpávání vchodů listy. (str. 22) Za výrazný instinkt i za projev inteligence označuje ucpávání vchodů do chodbiček, což dělají již velmi malé žížaly. (str. 32)

Srovnává je se zvířaty řídicími se instinkty například: mravenci, včely a štika. I se zvířaty u kterých předpokládáme vyšší inteligenci ve srovnání s žížalami. Také u nich dochází k instinktivnímu jednání, nejsou schopna zareagovat na neobvyklou situaci. (str. 48-49) Pokud žížaly táhnou list, jedí ho, nebo kopulují, na světlo téměř nereagují. Pokud je upoutána jejich pozornost, mění se jejich obvyklá reakce na jiné podněty. Proto má Darwin dojem, že se nejedná o čistě reflexní čin. U vyšších živočichů tomu říkáme pozornost, a pozornost implikuje přítomnost mysli. Srovnání s vyššími zvířaty se může zdát přehnané, ale Darwin nevidí důvod takové srovnání zpochybňovat. (str. 15-17) Nedostatečné smyslové orgány nevyklučují inteligenci. Laura Bridgman (str. 22), získala vzdělání, přestože byla po nemoci slepá a hluchoněmá.

Při vytváření chodbiček využívají žížaly hltn jako klín. (str. 31) Do chodbiček si tahají například listy, květní stopky, řapíky různých druhů listů, větvičky ze stromů, kousky papíru, chomáčky vlny, chlupy a drobné kameny. Vchody do chodbiček jsou obložené výměšky, v horní části jsou ucpané listím, dále jsou zde drobné kameny či semena. (str. 32-33)

Darwinovy úvahy o inteligenci žížal přitáhly pozornost. Přisuzoval jim inteligenci a benevolenci, změnil tak předchozí vnímání žížal jako hloupých, nežádoucích

škůdců, kteří jsou jen na obtíž. Pozdější výzkumy označily jeho závěry ohledně inteligence za přehnané, ve svých experimentech chybně přisuzoval inteligenci tam, kde převládají instinkty. (Brown et al. 2003) Darwin však nedefinoval „inteligenci přesným termínem“. Otázka zda se zvířata chovají vědomě je stále považována za problematickou. (Crist 2002)

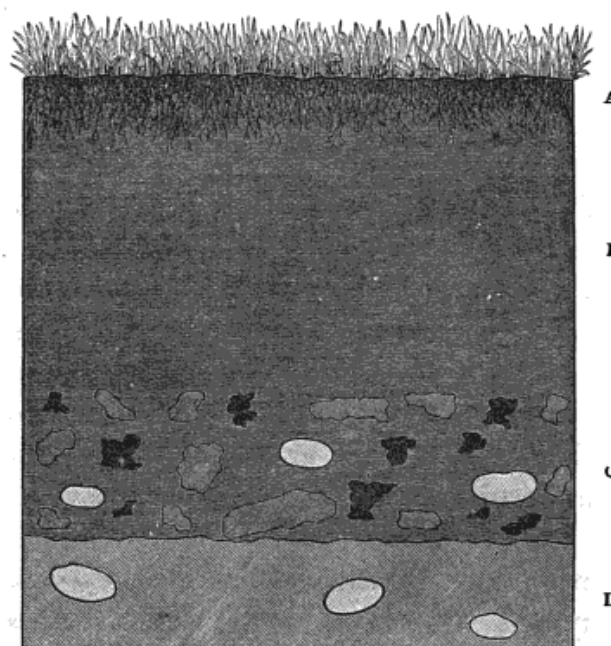
2.3. Objem zeminy vynášený žížalami na povrch

Darwin se rozsáhle zabývá vlivem bioturbace na denudaci půdy. Pokud je půda pokryta vegetací, pak erozní odnos půdy větrem a vodou je velmi malý. Půdní organismy mohou tento proces urychlit vynášením kyprých částí půdy na povrch, kde jsou snáze odneseny větrem nebo vodou. Zároveň s tím může docházet k odstraňování půdy zpod některých předmětů př. kamenů a k jejich postupnému propadávání a pohřbívání do půdy. Darwin uvádí řadu příkladů.

Kolem roku 1827 byla rozprostřena silná vrstva páleného vápna na pastvinu, která od té doby nebyla orána. V roce 1837 byly vykopány sondy, v těchto místech byly drny tvořené trávou (1,3 cm). 6,3 cm pod tím se ve všech sondách (7,6 cm pod povrchem) nacházela vrstva vápence. Stejný efekt byl pozorován s vrstvou uhelné škváry, která byla na stejné louce rozprostřena na přelomu let 1833/1834. V roce 1837 byla 2,5 cm pod povrchem souvislá vrstva uhelné škváry, paralelní s výše zmíněnou vrstvou vápna. (str. 64)

V roce 1842 Darwin rozházel vápenec na pole blízko svého domu, které bylo 30 let, nebo možná i 60 či více let, využíváno jako pastvina. Chtěl zjistit, v jaké hloubce se budou po čase nacházet. V roce 1871, 29 let poté, vykopal výkop. Nastal pokles i velkých kamenů, Darwin věřil, že za to mohou žížaly. (str. 67-68)

Obr.1. Pokles předmětů po 29 letech (Darwin 1881, 3.kapitola)



Pokus s rekultivací, při kterém bylo místo zoráno, pokryto jílem, škvárou, oseto travními semeny. Popisuje, co bylo nalezeno po 15 letech v jaké hloubce.

Úzká dlážděná cesta vedla přes trávník, byla po 34 letech pokryta více než 2,5 cm půdy (str. 70), tyto dlaždice vyvolaly zájem dalších badatelů, kteří je po 100 letech nenašli ani v hloubce 66 cm. (Kelog 1942) Na základě pozorování poklesu částí velkých kamenů, Darwin uvažuje, jak dlouho by trvalo, než by kámen poklesl celý. Například u kamene 170 cm x 99 cm x 38 cm odhaduje 262 let. (str 73)

Více než princip tohoto procesu je významná Darwinova snaha o kvantifikaci množství půdy, která je takto přemísťována.

Množství zeminy vynesené na povrch určoval dvěma metodami: jak rychle se objekty na povrchu „propadnou“ a druhá, přesnější spočívá v odvažování exkrementů za určité období. (str. 63-64)

Vzhledem k tomu, že se Darwin snažil zjistit množství půdy vynesené na povrch žížalami, psal také o množství žížal, které se v půdě nachází. Využil k tomu Hensenovu studii, která udává na hektar půdy v zahradě 133 tisíc žížal (53767 na akr). Váha žížaly byla průměrně 3 gramy. Při pokusu, při kterém byla žížala

krmena listím, vážila pouze o půl gramu více. Větší množství půdy muselo být vyneseno na povrch v době, kdy žížaly konzumují zeminu místo listí a také při hloubení hlubokých nor. (str. 75-76)

Při pokusu byly exkrementy vysušeny na slunci, nebo pomocí ohně. Byla vážena zemina vyzdvižená z žížalích chodeb na daném území. Dále byla vypočítána tloušťka vrstvy, kterou by výměšky zformovaly, pokud by na daném území byly rovnoměrně rozloženy. I přes pomalou rychlost, při které vrstva exkrementů narůstá, po delším čase může narůst do značné tloušťky. (str. 76)

Žížaly nejsou aktivní během letního suchého počasí a během zimních mrazů. Při předpokladu, že pracují jen půl roku, na poli, kde se pokus prováděl by vynesly (8.387 pounds per square yard či 18.12 tons per acre) (str. 79)

Na straně 80-82 najdeme číselné výsledky. Ve většině případů bylo množství půdy vynesené na povrch během 10 let větší než spočtené množství na základě vážení exkretů. Mohlo to být ovlivněno např. deštěm, který odplavil část exkrementů, ztráty během manipulace při vysoušení.

2.4. Role žížal při zasypávání starověkých staveb

Darwin se zde rozsáhle věnuje úloze žížal v zahrabávání starověkých staveb a památek. Archeologové si nebyli vědomi, že žížaly, kromě vodní a větrná eroze také napomáhají k pohřbívání památek do půdy a tím k jejich uchování. Popisuje vliv žížal na pokles staveb vybudovaných starými Římany, vil v Abingeru, Chedworthu, Bradingu a pozůstatků měst v Silchesteru a Wroxeteru. Činnosti žížal také připisuje pokles kamenů ve Stonehenge. Rozebírá vliv žížal při poklesu podlah a nosných zdí. Např. pozoroval exkrementy u vstupů do chodbiček žížal na podlaze starověké stavby. Popisuje uchování různých památek pod povrchem.

2.5. Role žížal při denudaci půdy

V dalších dvou kapitolách Darwin popisuje aspekty denudace. Již delší dobu byl zřejmý velký význam denudace, ale po zahájení měření a mapování překvapila svým obrovským významem. První zmínky uvádí vědci již v roce 1846. Země se skládá z krystalické horniny, která je dezintegrována díky činnosti větru, vody, změn teploty, vodních toků, vln moře, zemětřesení a vulkanické činnosti. Denudace znamená přemístění dezintegrovaného materiálu na nižší stupeň. Částice jsou přenášeny větrem, proudící vodou. (str. 106-108) Dříve vědci mysleli, že hlavní činitel při denudaci jsou vlny moře. V posledních dvaceti až třiceti letech před sepsáním Darwinova díla se ukázalo, že denudaci významně napomáhá vítr, déšť a vodní toky. (str 106-107)

Na různých místech světa je pro denudaci významnější jiný činitel. Například v aridních oblastech hraje při denudaci velkou roli vítr. (str. 107) Denudaci vysvětluje na příkladu řeky Mississippi, kde odnos půdy činí 30,5cm za 4566 let (1 foot in 4566 years). (str. 107) Ve vlhkých oblastech se podílejí na denudaci také žížaly. Půda tam již několikrát prošla jejich zažívacím ústrojím. I jiná rýpající zvířata, např. mravenci mají vliv. Na některých místech hraje důležitou roli přenos prachu. V Británii je půda pokryta vegetací a prach tudíž nemá vliv na zvýšení půdní pokrývky. Naopak na místech, kde bývá suché a dlouhé léto, hraje navátý prach větší roli. Uvádí např. Egypt a prašné bouře La Plata. (str. 108-109) . Ktomě denudace žížaly také promíchávají organickou hmotu do půdy a umožňují tak vznik tmavé kvalitní zeminy (str. 109).

Na rozklad kamenů mají vliv kyseliny a neustálý pohyb částíček zeminy. Darwin přemýšlí, odkud mohou pocházet tyto kyseliny pocházet. Uvažuje např. o kyselinách z humusu, kyselinách tvořených v těle žížal. (str. 112) Silná vrstva půdy velmi zpomaluje rozklad pod ní ležící zeminy a kamenů. Kousíčky kamenů rozdrobené nebo rozmělněné v trávicí soustavě žížal, pozřené kameny slouží jako mlýnské kameny. Rozmělňování malých částí kaménků v žaludku žížal není z geologického pohledu zcela nevýznamné. (str. 113-118)

2.6. Denudace půdy – pokračování

Zabývá se otázkou, jakou roli hrají žížaly při denudaci půdy. Na rovném a mírně svažitém povrchu pokrytém vegetací je činnost žížal významná, napomáhá denudaci větrem i vodou. Usušené exkrementy se rozpadnou na kuličky, které se po nakloněné rovině kutálí. Částečně díky nashromáždění rozpadlých exkrementů dochází k formování malých převisů na svazích kopců. (od str. 118) Této části se ve svém článku v *Nature* z roku 1889 věnoval Ernst.

Pojednává o vyměšování žížal, o vlivu větru, sucha a deště na jejich exkrementy. (str. 118-119, 124-125) Zabývá se sklonem povrchu a jeho vlivem na pokles trusu - nožem rozdělil trus na dvě části, po vrstevnici u ústí chodbičky a zvažil exkrementy, chtěl znát rozdíl ve váze dvou částí. Část nacházející se v dolní části je těžší v poměru dvě ku jedné. (str. 120-121)

Kolem ústí do nory na rovném povrchu jsou výměšky téměř dokola, rozdíl ve váze indikuje objem výměšků, které stekly dolu ze svahu. Byla by potřeba řada dalších pozorování, aby se došlo k obecnímu výsledku, vegetace, další náhodné okolnosti, např. vydatnost deště, směr a síla větru se zdají být důležitější než velikost úhlu. Uvádí příklad pozorování dvou povrchů s různým sklonem, kdy byl odnos na menším sklonu úhlu větší.

Jak bylo uvedeno, téměř dvě třetiny vyvrhnuté půdy se nacházelo pod ústí chodbičky a jedna třetina nad ní. Pokud dané dvě třetiny rozdělíme na stejné části, horní polovina je stejně velká jako část nad ústím chodbičky.

Z exkrementů žížal jsou nejjemnější částičky zeminy zcela odplaveny. (str. 124)

2.7. Shrnutí

V poslední kapitole Darwin shrnuje hlavní myšlenky celé knihy. V mnoha částech Anglie žížaly vynesou ročně na povrch více než deset tun (10 516 kg) suché zeminy na každý akr země. Každých pár let projde jejich trávicím ústrojím celá povrchová vrstva půdy. (str. 138-139)

Žížaly napomáhají denudaci. Jejich trus je odplavován deštěm, nebo se kuličky trusu samy kutálí. Připomíná nerovnoměrný pokles mozaikových podlah budov, monolitů a zdí. Žížaly prosévají půdu, kameny klesají dolů. Dochází také k propadání jejich chodbiček. V jejich trávicím ústrojí dochází k rozmělnění, napomáhají proměně listů na humus.

I když mají jednoduché smyslové orgány, při ucpávání vstupů do chodbiček se chovají stejně, jako by se choval člověk. Přirovnává žížaly ke korálům. (str. 142)

Ne všechny myšlenky jsou pro tuto práci stejně důležité. V další části práce se zaměřím jen detailně na některé z nich, zejména pak na ty které souvisí s úlohou žížal při promíchávání půdy (bioturbaci) a souvisejícími procesy jako jsou denudace, tvorba půdy etc.

3) Reakce na Darwinovu knihu

Reakce na Darwinovu knihu jsem sledovala ve dvou časových obdobích jednak reakce historické, které se objevily krátce po vyjití Darwinovi knihy od roku 1881 do roku 1900 a dále na reakce recentní zejména od šedesátých let minulého století po současnost. Důvody pro toto oddělení byly zejména metodické, neboť práce od šedesátých let je možno vyhledat pomocí *Web of Science* zatímco práce historické bylo nutno hledat ručně. Ručně byl prohledán časopis *Nature* od vyjití Darwinovi knihy (1881) po rok 1900 a v jednotlivých článcích byly hledány reakce na Darwinovo dílo, byly použity i odkazy v těchto dílech. Problémem však je že řadu prací z předminulého století nebylo přes veškerou snahu možno získat. U recentních pramenů byl použit k hledání jednotlivých prací WoS, do tohoto souboru byly zahrnuty i některé zásadní práce z první poloviny minulého století, reagující na Darwinovo dílo, na které současné práce odkazovaly. Tento přístup byl použit ve snaze podchytit okamžitou reakci na Darwinovo dílo se současným pohledem a klást si otázky jaké aspekty zaujaly v minulosti a nyní.

3.1. Reakce historické, krátce po vydání knihy

Brzy po vydání knihy vyšlo několik recenzí např. Romanes (1881), Zacharias (1881). Darwin vycházel z článku *On the Formation of Mould* (1837), který prezentoval před Geologickou společností. Po značném rozšíření vznikla z původního článku více než 300 stránková kniha, téma zůstalo stejné. Nová pozorování směřovala k potvrzení původních hypotéz (Romanes 1881). Recenze je převážně složená z citací ze všech částí Darwinovy knihy, je velmi popisná a málo hodnotící neřkuli kritická. Za jednu z nejzajímavějších částí označuje experimenty zkoumající způsob, jakým žížaly manipulují s listy. (Romanes 1881). To patrně souvisí s tím že Romanes byl, jak připomínají pozdější autoři, evoluční psycholog (Forsdyke 2001; Stewart 2004 str. 80).

Řada autorů navazovala na Darwinovi poznámky o chování žížal. Hoffmeister (1845) a Darwin (1881) pozorovali „negativní reakce“ žížal na světlo, došli k závěru, že oblastí citlivou na světlo je jejich přední část jejich těla. Graber (1884; in Hess 1924) tato pozorování „obecně potvrdil“, avšak ukázal, že i jiné části těla

jsou citlivé na světlo. Hesse (1894; in Hess 1924) došel k závěru, že celý povrch je citlivý na světlo, že oba konce jsou citlivější než střední část těla že přední část těla je citlivější než zadní část těla. (Hess 1924) zkoumal reakci na světlo u *Lumbricus terrestris*, na velmi slabé světlo reagovala pozitivně, na ostatní negativně.

Vědci později zjistili, že žížaly reagují na světlo díky světločivným buňkám v kůži. (Stewart 2004, str. 81)

Článek *Earthworms*, který vyšel v Nature roku 1890, se zabývá úlohou žížal a dalších půdních živočichů v úrodnosti půdy. Popisuje nadprůměrnou úrodnost půd a schopnou velmi dobré regenerace oblasti Yoruba v západní Africe u Guinejského zálivu, a to i ve srovnání s jinými místy v tropech. Podobně jako na jiných místech zde farmáři vykáceli stromy a vypálili půdu. I na místech, kde má půda hloubku kolem třiceti centimetrů je úrodnost výborná. První tři roky sklídí dvě úrody ročně, nepoužívají žádná hnojiva, pak se půda nechá dva až tři roky odpočinout, poté je připravena na další cyklus. Navzdory tomuto vyčerpávajícímu systému obdělávání půdy úroda neklesá. V článku se zmiňují různé názory přisuzující úrodnost termitům nebo žížalám. Uvádí, že za období sucha je vidět mnoho výtrusů. Podobně jako Darwin analyzoval nalezené výměšky a snažil se odhadnout množství půdy vynesené na povrch. Ve vlhké půdě je zde velké množství žížal nalézáno i v hloubce 94 cm. V článku cituje Darwina a vyslovuje hypotézu vlivu činnosti žížal na snížení výskytu malárie. (S.N.C. 1890; autor uveden pouze redakční zkratkou)

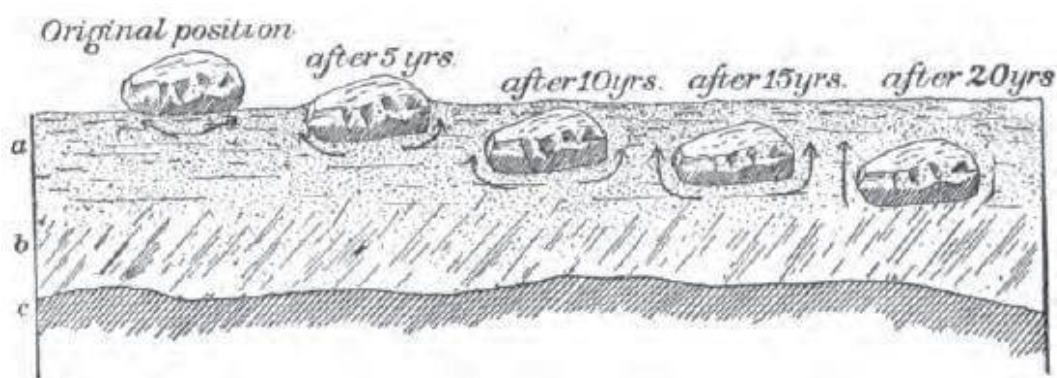
Co se týče půdotvorného významu žížal, nejvíce dobových komentářů se zabývalo výskytem žížal v různých částech světa v duchu myšlenky, že kde žížaly nežijí, nemohou se ani podílet na tvorbě půdy. Více reakcí po vydání knihy se zabývalo tématem o výskytu žížal: Barrington (1884), Christy (1884), Melvin (1884), Wilcox (1884).

O procesech při tvorbě půdy také pojednává práce od Shalera z roku 1892. V jedné části rozepisuje vliv zvířat a rostlin na půdu, které mají vlivem některých zvyků rozkladný vliv na zemský obal. Organický život ovlivňuje půdu mnoha způsoby, ty nejdůležitější zde uvádí rozdělené do několika skupin. (od str. 268)

První uvádí vliv organických druhů na horniny, ze kterých půda získává minerální látky. Druhý přeměnu půdy díky zvláštnostem živočichů a rostlin. Třetí přínos zbytků organických forem půdě, kterou obývaly.

U rostlin se věnuje vlivu kořenů, odumírajících kořenů a vyvrácených stromů. (str. 269-273) Dále a věnuje zahrabávání předmětů žížalami a jinými organismy, připomíná Darwinovu práci.

Obr.2. Pokles předmětů po 20 letech (Shaler 1892, str. 275)



Shaler, str. 275: Dochází k zahrabání kamenů vlivem žížal a dalších živočichů a) true soil 45, 7 cm b) subsoil c) podkladová hornina (bedrock)

Tandarich (2006) píše o historii půdní vědy. Shalerovu knihu o půdě označuje za významnou.

Melvin (1884) ve své práci rozebíral možnost vzniku půdy bez činnosti žížal. Stejně jako řada dalších autorů poukazoval na to, že se v řadě oblastí žížaly nevyskytují. Uvedli např. třetinu kontinentu Severní Ameriky (př. prerie v severozápadní Kanadě, Manitoba a „Nort-West Territories“, oblast od Winipegu ke Skalistým horám), na některých místech Austrálie, v jižní části jižního ostrova Nového Zélandu. (Christy 1884, Melvin 1884, Wilcox 1884)

Grant (1955) píše, že žížaly jsou hojné v dobře provzdušněné půdě zásobené organickými živinami, ale pochybuje, že by žížaly mohly zlepšit podmínky špatné půdy. Připomíná, že různým druhům žížal vyhovuje různý druh půdy. Na žížaly mohou mít vliv např. požáry, promrzající půda, hnojení, způsob obhospodařování půdy. (Christy 1884, Melvin 1884, Shaler 1892)

Řada autorů poukazuje na to, že kromě žížal to mohou být i další půdní organismy, které mají význam pro tvorbu půdy, např: syslové, krtci, myši, hlodavci, ptáci, plazi, hmyz, mravenci, termiti, kořeny rostlin, (Christy 1884, Melvin 1884, Shaler 1892, Drummond 1888)

Shaler (1892) přirovnává činnost žížal k činnosti mořských živočichů, kteří také hloubí chodbičky. Vliv mravenců je omezen na malou oblast a je proto bez většího efektu. (od str. 278) Věnuje se půdám, které si vybírají. Například některé druhy mravenců žijí pouze na místech, kde má půda vhodnou hloubku, úrodnost a je poněkud písčitá. Věnuje se různým druhům mravenců. Přirovnává vliv mravenců na písčitou půdu vlivu žížal na jílovitou půdu. Píše o ničivém chování prasat v lese a jeho důsledcích na půdu. Rozebírá vliv termitů na přenášení materiálu z nižších částí půdy na povrch. Mezi obratlovci je asi více než sto druhů, které ovlivňují půdní vlastnosti. (str. 281) Zmiňuje se dále o plazech a ptácích. Podle Shalera mají na půdu ze všech obratlovců největší vliv savci. Stovky druhů hloubí chodbičky, většina z nich tráví část života pod zemí. Zaměřuje se na vliv krtků a hlodavců, kteří se nacházejí v Americe. Věnuje se hloubení chodeb krtky, jejich délce, jejich vlivu na rostliny a především na půdu. Krtci podporují degradaci půdy. Na druhou stranu ničí hmyz, který se živí u kořenů rostlin a také míchají půdu, která má pak přístup ke vzduchu. Jejich celkový vliv je přínosný. (Shaler 1892, str. 282-283)

U hlodavců se zaměřuje na druh myší, které hlavně v zimě žijí několik měsíců pod zemí. Na ostrově v severovýchodní části Ameriky žijí tyto myši v ohromných počtech. Ty rostliny, které jim v zimě poskytují výživnou potravu, jimi bývají ničeny. Budují si útočiště v podzemí a mají značný vliv na půdu. Tahají půdu z těchto míst a hromadí ji u otvorů. Tímto způsobem obrátí mnoho půdy a smísí ji s rostlinnou složkou a s nerostným materiálem. Chodbičky poskytují snadný přístup dešťové vodě, dochází ke smíchání rozkládajícího se listí, rostlinného a dalšího organického odpadu s půdou (Shaler 1892, str. 284).

Lovell (1884) psal reakci na Melvina (1884). Uvedl příklad pole, které bylo před dvěma roky přeměněno v zahradu. Kvůli několikaletým špatným pěstební podmínkám, všechna úroda byla pokaždé najednou odebrána, se zde

nenacházely žádné žížaly. Po použití velkého množství koňského hnoje se objevily stovky žížal. Po dešti byla půda pokryta jejich četnými exkrementy. Přeměna humusového horizontu v kombinaci se zvířecím odpadem poskytla vhodné živiny pro rostliny. Využití zemědělské mechanizace při pěstování brambor výrazně snižuje počet žížal. (Curry et al. 2002)

3.2. Současné reakce na Darwinovu knihu

Převážná většina prací uvedených v obr. 3, které dnes citují dílo Charlese Darwina ho zmiňují spíše jako historickou kuriozitu než aby z něj čerpaly jakékoliv informace nebo ho používali jako výchozího pro svou další práci. Proto nebylo ani takovým problémem najít práce, které Darwinovo dílo citují jako vytřídit z nich ty, které na něj skutečně navazují či reagují.

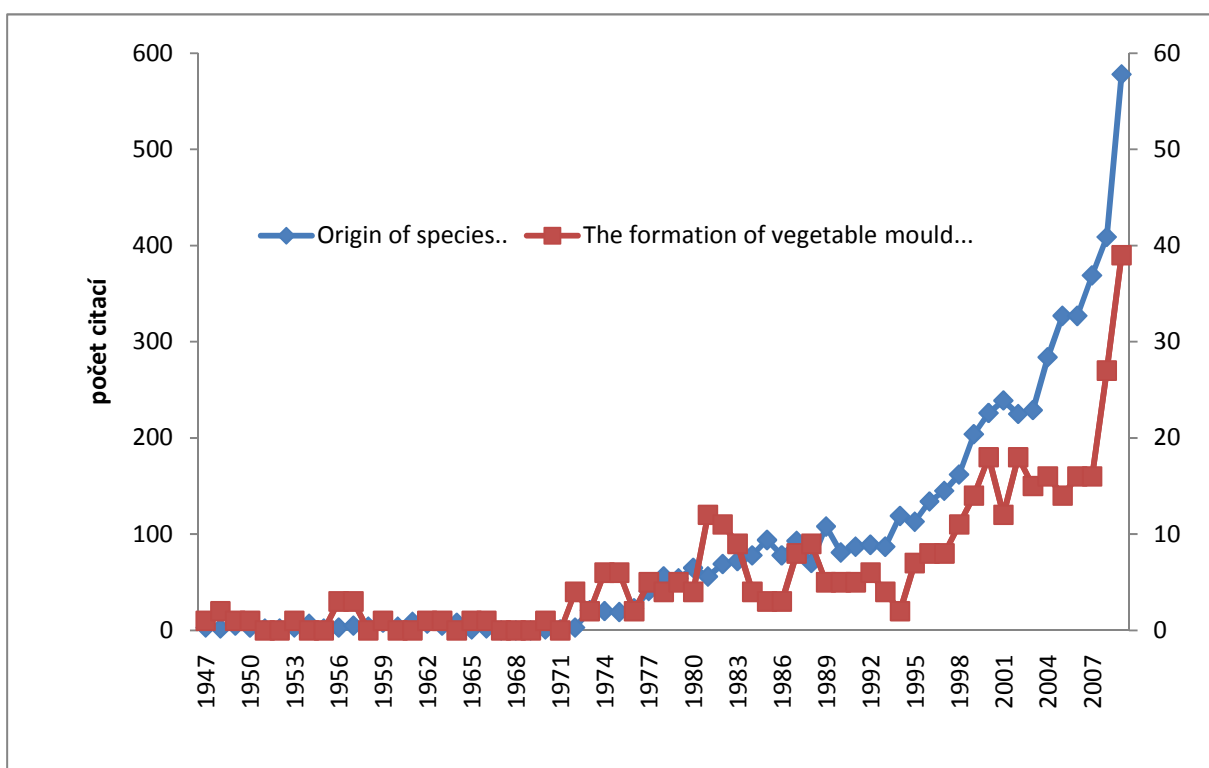
Existuje několik empirických prací snažících se o doplnění Darwinových studií přímo v místě jeho někdejšího působení. (Kellog 1948, Butt 2008) Podobně jako u historických ohlasů se řada recentních ohlasů zabývá chováním žížal (Crist 2002)

Darwinova práce *Formation of Vegetable Mould* byla milníkem v půdní biologii, zdůraznila důležitost žížal při rozkladných procesech a promíchávání půdy. Dříve se předpokládalo, že žížaly rostlinám ubližují. (Crossley 1985) McDonald a Simonson (1994) uvádí ve svém článku o odborné literatuře v oblasti půdních věd žebříček dvaceti nejcitovanějších publikací (*Top Twenty Historical Monographs by Citation Counts*) Darwinova kniha *Formation of Vegetable Mould* se nachází na sedmém místě. Tématu půdy byla v posledním desetiletí a hlavně v posledních pěti letech věnovaná zvýšená pozornost. „Soil production function“ je dle nich důležitá, v budoucnu by se na ni vědci měli více zaměřit. (Humphreys, Wilkinson 2007) Publikace z oblasti ekologie, pedologie, hydrologie, geomorfologie a dokonce i archeologie dnes Darwinovu knihu citují jako původní zdroj. (Meysman et al 2006)

Darwinova kniha *Formation of Vegateble Mould* je neustále hojně citována a počet citací v čase roste, jak ukazuje obr. 3. Celkový počet citací práce v letech 1947 – 2009 *Formation of Vegateble Mould* je 381, počet citací práce *On the Origin of*

Species je téměř patnáctkrát vyšší, 5541. Medián pro práci *Formation of Vegetable Mould* je 4 a pro práci *On the Origin of Species* 54. Počty citací u obou prací jsou korelovány (obr. 3), to ukazuje spíše na setrvalý zájem o Darwinovu osobu než specifický zájem o jeho práci o žížalách. Jedním z důvodů velmi vysokého počtu citací v roce 2009 je dvousté výročí narození Charlese Darwina (*1809) a 150 výročí od prvního vydání knihy *On the Origin of Species*.

Obr. 3. Počet citací Darwinových prací, na levé ose *On the Origin of Species* a na pravé ose *Formation of Vegetable Mould* podle *Web of Science*.



Kellog (1948) se ve své práci věnuje různým teoriím o půdě. Uvádí, že Darwinova kniha o žížalách, jejich vlivu na utváření půdy je stále asi nejlepší týkající se tohoto tématu. Žížaly se vyskytují v úrodných půdách, ale ne ve všech. Někdy jsou i v méně úrodných půdách. Píše, že stále není odpověď na otázku, zda se tam žížaly vyskytují, protože je půda úrodná či zda z ní dělají úrodnou půdu. Domnívá se, že obojí.

Butt et al. (2008) cílem jejich práce bylo určit druhy žížal, které se nacházejí v oblasti Down House, kde Charles Darwin prováděl své četné pokusy. Jejich cílem bylo kvantifikovat hustotu a biomasu žížal ve vybraném stanovišti. Revidovat Darwinovy experimenty týkající se bioturbace a pokles předmětů v půdě a pokud možno určit počet druhů žížal, s kterými se Darwin setkal, když psal *Formation of Vegetable Mould*.

Vzorky byly odebírány v letech 2004 – 2006, většina práce byla vykonána při návštěvách v březnu každého roku. Jedince uchovávali ve 4% roztoku formaldehydu pro identifikaci, podle nomenklatury dle Simse a Gerarda. Popisuje přesná místa, kde odebírali vzorky. Pořizovali digitální fotografie, aby změřili podíl, který je pokryt výměšky.

Tradiční metodou sběru žížal je ruční sběr. Další možností je metoda využívající roztok 0,25% formalínu. Na vymezenou plochu se vylije stanovený objem roztoku formalínu. Po jeho vsáknutí do půdy vylézají žížaly aktivně na povrch půdy, kde je možné je sesbírat. Nevýhodou metody je, že na ní všechny druhy nereagují stejně a některé druhy jsou tudíž ve výsledku podhodnoceny nebo chybí. (Bejček-Šťastný et al. 2000, Ekologický slovník pro státní správu, „Extrakce žížal“, str 40-41)

Butt et al. (2008) zkombinovali metodu ručního sběru a hořčičného roztoku (*mustard vermifuge*). Výsledky s využitím hořčičného roztoku dávají podle Muramota (2002) srovnatelné výsledky v četnosti a biomase žížal na jednotku plochy jako metoda s použitím formalínu. Výsledky Butt et al. (2008) jsou shrnuty v následující tabulce. Tyto výsledky vykazují tedy větší hodnoty, než ve svých úvahách uvažoval Darwin (1881).

Tab.1. Výskyt žížal na stanovištích okolo Down House (But et al. 2008)

	hustota žížal (m ⁻²)	biomasa žížal (g*m ⁻²)	celkový počet druhů
výkop/ruční třídění + hořčičný roztok			
Sandwalk woodland	310	149	7
Great Pucklands Meadow	290	115	6
Kitchen Garden	715	261	4
Great House Meadow	422	131	6
Middle Field	284	144	9
High Elms grassland	85	26	4
Cockoo Wood (dub)	130	39	7
Cockoo Wood (buk)	3	<1	1
Cockoo Wood (modřín)	4	12	2
Ravensbourne (sucho)	130	80	3
Ravensbourne (vlhko)	225	97	5
Keston Bog	150	5	2
pouze mustard vermifuge			
Great House Meadow	158	120	8
Down House Orchard	72	58	7
Grass below Ash	89	116	7
Grass below Pine	25	37	4
Grass below Yew	64	108	4

Bylo nalezeno 19 z 28 druhů žížal žijících v Británii. Zjištěna byla velká diverzita v závislosti na typu půdy a stanoviště. Podle očekávání byla nalezena většina druhů žížal žijících na britských lukách a pastvinách.

Počet a biomasa žížal nalezené na Darwinových loukách a pastvinách jsou srovnatelné s daty shromážděnými z britských pastvin používajícími stejnou metodiku. Výsledky v Kitchen Garden dle odborné literatury výrazně převyšují půdy na jiných zahradách, lze však najít i jiné zahrady s podobnými parametry. Vyšší počet žížal může být ovlivněn absencí pesticidů a herbicidů a využitím organických hnojiv. (Butt et al.)

Podobně jako u okamžitých ohlasů na Darwinovu práci i v dlouhodobém měřítku vyvolávaly velký zájem části Darwinovi práce věnované chování žížal. Crist (2002) se ve své práci zabývala metodami, kterými Darwin zkoumal chování žížal, a jazykem který použil k jeho popisu. Pro Darwina byla schopnost žížal hodnotit tvar

nejdůležitější indikací inteligence. Poukazuje na Darwinovo přirovnání žížal k člověku a na zbystření hmatového smyslu člověka, pokud je to třeba. Člověk je schopen dobře hodnotit tvar předmětu hmatem a tím určit jak s předmětem účinně hýbat, což dělají také žížaly. Toto stejné chování by bylo ukázáno jako inteligence. Darwinovy obavy, aby práce neztratila důvěryhodnost, se promítly ve svědomitém shromažďování a vyhodnocování dat.

Dalším oborem, kde se Darwinova práce projevila byla archeologie, a to zejména úvahy týkající se role bioturbace při poklesu a dalšího pohybu předmětů v půdě. Darwin zkoumal římské stavby, měl teorii, že podlahy klesají kvůli žížalám více než zdi. Ředitel tamějšího archeologického výzkumu s ním nesouhlasil, ale nakonec souhlasil s Darwinovou argumentací. Canti (2003) Činnost žížal může přemístit kosti mrtvých živočichů. Armour-Chelu a Andrews (1994) toto potvrdili s kostmi malých savců, které byly přemístěny horizontálně i vertikálně.

Darwinova práce našla své uplatnění také v gnoseologii a v teorii vědy. Denisson (1993) se věnuje využití Darwinovy práce *Formation of Vegetable Mould* při výuce „vědeckých metod“ - od hypotéz, experimentů až k tvorbě závěru.

V poslední době však mezi ohlasy na Darwinovo dílo rostou práce zabývající se vlivem žížal na bioturbaci a formování půdy.

Ještě v 70. letech byl význam bioturbace zlehčován, případně zcela ignorován. (Grave, Kealhofer 1999) Darwinova pozorování v práci *Formation of Vegetable Mould* byla tak pokročilá, že u mnoho z nich trvalo půl století, než byla potvrzena. (Edwards 2004, str. 4) Christy (1884) vyzdvihuje Darwinovu tezi o významu zdánlivě malých a nedůležitých efektů v dlouhém období, které se v knize o žížalách věnoval. Dle Johnsona (2002) práce Charlese Darwina *Formation of Vegetable Mould* ovlivnila mnoho dřívějších vědců, kteří ukázali jak půdní biota mechanicky vytváří nové vrstvy a půdní horizont. Vyzdvihla činnost žížal v půdě a při tvorbě humusu, ovlivnění úrodnosti půdy, geologické procesy, pohřbívání archeologických památek. (Brown 2003)

3.3. Bioturbace

Půdní procesy zkoumané Darwinem, dnes známé jako bioturbace, byly dle Johnsona (2001) v řadě teorií přehlíženy a změna nastala až více než sto let po Darwinově smrti. Meysman a kol. (2006) se ve svém článku o Darwinově odkazu věnují i bioturbaci na mořském dně a uvádí, že Darwin by byl jistě ohromen, kdyby zjistil jaký vliv měla bioturbace na vývoj druhů během kambrijské exploze, při které došlo ke zcela mimořádnému zrychlení evolučního tempa. (Gaisler a Zima 2007, str. 33)

Keith (1942) chtěl zjistit, co se stalo po 100 letech od Darwinova pokusu s vápencem a škvárou. Získal povolení provádět výkopové práce na pozemcích, kde Darwin dříve prováděl své pokusy. Po provedení výkopových prací došel k závěru, že předměty klesají jen do určité hloubky a v ní už zůstávají.

Dle Johnsona (2002) bylo Darwinovo pozorování biomechanických procesů ignorováno v řadě základních modelů vývoje krajiny.

Uvádí pět tradičních teorií:

1. Pětifaktorový model tvorby půdy V.V. Dokučajeva (dále Soil Survey Division of U.S. Department of Agriculture a Hans Jenny)
2. William Morris Davis a jeho erozní cyklus
3. Model Walthera Pencka a návazné práce Lestera C. Kinga a Roberta V. Ruheho
4. zákon superpozice
5. tradiční chemicko-fyzické pohledy na krajinnou evoluci (bez bio pohledu)

Jedním z prvních vědců, kteří na Darwinovu práci navázali, byl Nathaniel Southgate Shaler. (Humphreys a Wilkinson 2007) Shaler v textu odkazuje slovy „jak Darwin obdivuhodně ukázal“ na Darwinovy závěry ohledně vlivu žížal na schopnost efektivně ovlivňovat půdní podmínky. (Shaler 1891) Shaler ve své práci rozebíral vznik půdy, podobně jako Darwin přikládal patřičný význam vlivu živých organismů. Přestože byla jeho zpráva, nebo spíše monografie, o rok později vydána znovu, vědci zabývající se půdními vědami jí nevěnovali pozornost. (Simonson a McDonald 1994).

Více než pedologové rozvinuli myšlenku bioturbace půdní zoologové. Zabývali se zejména úlohou různých půdních organismů v bioturbaci a také detailněji úlohou žížal (Lavelle et al. 1997). Rozlišujeme několik ekologických skupin žížal. Žížaly epigeické žijí v opadu, nebo ve vrchní vrstvě půdy. Využívají buď stávajících mezer, nebo budují horizontální chodby. Druhy žijící v opadu se na bioturbaci prakticky nepodílejí. Druhy žijící ve vrchní vrstvě půdy mohou hrát úlohu v zapracovávání opadu do vrchní vrstvy půdy. Druhy endogeické žijí v hlubších vrstvách půdy, budují zde síť horizontálních chodeb a živí se částečně rozloženou organickou hmotou, mohou se podílet na promíchávání půdy uvnitř nebo mezi minerálními horizonty. Nejvýznamnější pro bioturbaci pak jsou druhy anetické. Tyto druhy žijí v hlubších vrstvách půdy, zároveň však budují hluboké horizontální chodby vedoucí k povrchu. Živí se rostlinným opadem, který sbírají na povrchu půdy a zatahují jej do hlubších vrstev.

V současnosti je koncept bioturbace zapracován do konceptu tzv. forem humusu, který je často používán půdními zoology, ekology a některými pedology (Lavelle et al. 1997). Tento koncept popisuje formování vrchních vrstev půdy v temperátních ekosystémech v závislosti na kvalitě opadu a s tím související míře bioturbace. Rozlišujeme tři základní formy nadložního humusu: mor moder a mull. Mor je charakteristický pro půdy s malým přísunem těžko rozložitelného opadu, typicky jehličnaté lesy. Tyto půdy hostí jen malé množství půdní makrofauny, která se prakticky nepodílí na bioturbaci. Dekompozice se tak odehrává zejména za účasti půdních hub a půdní makrofauny a organická hmota se hromadí na povrchu půdy. Naopak mull je charakteristický pro půdy zásobené velkým množstvím dobře se rozkládajícího se opadu, typicky se jedná o stepní ekosystémy. Tyto půdy hostí velké množství makrofauny zejména endogeických druhů žížal, které promíchávají takřka veškerý opad do půdy, takže většina půdní organické hmoty se nachází v organominerálním A horizontu. Vynikají tak hluboké půdy s velkou zásobou uhlíku. Mezistupněm mezi těmito extrémy je moder typický pro listnaté lesy, zde se na bioturbaci podílejí kromě žížal další zástupci půdní makrofauny zejména mnohonožky, larvy dipter a někteří další členovci (Lavelle et al. 1997). Na významnějším rozmachu studia bioturbace se jistě nemalou měrou podílelo rozšíření metodiky půdních výbrusů pro sledování distribuce biogenních struktur

v půdním profilu (Frouz et al. 2007). Některé recentní práce poukazují na spojitost mezi bioturbací a akumulací půdní organické hmoty v půdě, zdá se, že vyšší intensita bioturbace je pozitivně korelována s větším hromaděním uhlíku v půdě (Frouz et al. 2009).

Nový impuls při studiu bioturbace přinesl výzkum pedogeneze pomocí metod *terrestrial in situ cosmogenic nuclides* (TCN) a opticky stimulované luminiscence (OSL) (Wilkinson, Humpreys 2005).

TCN a OSL jsou nové datovací techniky, vhodné k otestování základních hypotéz pedologie. Pomocí metody TCN zkoumající změnu atomárních struktur je možné stanovit, jak dlouho byl minerál vystaven vesmírnému záření. Metoda TCN umožňuje odvození rychlosti tvorby půdy (*soil production rate*) ze skalního podkladu (*bedrock*) a zvětralinové pokrývky (*saprolit*). OSL datování zase umožňuje určit dobu, která uplynula od okamžiku, kdy byla zrnka nerostů například křemenu a živce, naposledy vystavena slunečnímu záření.

Pokud je mocnost půdy v čase stálá, rychlost tvorby půdy se rovná *transport rate* (rychlost jakou eroze půdu odnáší). Rychlost tvorby půdy je tedy důležitá pro stanovení udržitelné míry eroze. Metoda TCN umožňuje srovnání skutečné rychlosti tvorby půdy se stávajícími modely. Vliv bioturbátorů na erozi může být různý, někteří jí napomáhají, někteří jí snižují. (Blanchart et al. 2004)

Konverze skalního podkladu a saprolitu na půdu závisí na mocnosti půdy, která je nad ním. Zatím nebylo jednoznačně prokázáno, zda je tvorba půdy maximalizována při určité půdní pokrývce či při její absenci. Obecně se předpokládá, že tvorba půdy je ze saprolitu, s růstem hloubky exponenciálně klesá, v případě tvorby půdy ze skalního podkladu je rychlost nejvyšší při určité nenulové půdní pokrývce.

Odhady role flóry, fauny a procesů jako mrznutí-tání, které se promíchávají půdní překryv do hloubky, byly dříve omezené. Nyní ho pomáhá kvantifikovat metoda datování pomocí opticky stimulované luminiscence (OSL). Vypadá to, že bioturbace je převažující pedogenický proces, ale výjimkou jsou oblasti, kde

převažuje vliv mrznutí a tání. Přestože bioturbace převažuje nad produkcí půdy, nemusí vždy vést k homogenizaci.

Přetváření saprolitu na půdu a jeho kvantifikace je důležité pro stanovení udržitelné míry eroze, kde odnos půdy urychlován nadměrným spásáním a odlesňováním a ohrožuje produktivitu. Když je eroze rychlejší než tvorba půdy, tak se tloušťka zmenšuje a výsledkem může být odhalení skalního podkladu.

Už v roce 1877 Gilbert vyslovil hypotézu podle které je tvorba půdy největší pod tenkou vrstvou půdy. Anderson (2002) zkoumal, jak led napomáhá rozrušování matečné horniny na alpinských svazích na západě USA. Rozrušování ledem má malý efekt, když je podklad holý, ale postupně roste jak roste tloušťka půdního pokryvu nad ním a maxima dosahuje, když je nad tím 20 cm půdy. Pokud dále vrstva narůstá, pak vliv exponenciálně klesá, při 2 metrové tloušťce půdy už je efekt téměř nulový.

Vliv bioturbace je obtížné kvantifikovat, ale podle předběžných odhadů je její role velice důležitá. Pomocí metody OSL můžeme kvantifikovat dlouhodobé vertikální promíchávání.

TCN b testovali v oblastech, kde je konstantní tloušťka půdy a rychlost/míra přeměny horniny v půdu je stejná jako míra denudace. Došli k závěru, že za milion let se vytvoří 1-250 metrů půdy a většina oblastí z vzorku byla v intervalu 10-100 metrů za milion let. (Wilkinson, Humpreys 2005)

Tyto nové studie potvrzují Darwinovu původní myšlenku, že bioturbace půdy může být významnou silou, která ovlivňuje formování půd a řadu dalších souvisejících procesů (koloběh živin, erozi) na různých velikostních škálách

4. Závěry

Darwinova práce otevírá několik skupin problémů: popisnou charakteristiku a morfologii žížal, chování a inteligence žížal, promíchávání půdy žížalami, vliv promíchávání půdy na archeologii a vliv promíchávání půdy žížalami na formování zemského povrchu. Je zajímavé jak rozdílnou reakci tyto různé části Darwinova díla vyvolaly. Popisné pasáže a práce o morfologii jsou často zmiňovány v pracích následníků, i když často spíše jako historická kuriozita. Největší okamžitý a setrvalý zájem vyvolaly úvahy o chování žížal. Soubor úvah o promíchávání půd žížalami vedl k okamžité odezvě v podobě prací všímajících si rozšíření žížal, a dále pak významu promíchávání půdy pro archeologii. Myšlenky týkající se vlivu promíchávání na formování půd a jejich úrodnost se dočkaly menšího ohlasu, který byl soustředěn zejména na několik prací těsně po vyjití Darwinovy práce a dále pak na řadu recentních prací narůstajících od druhé poloviny minulého století. Zcela zapadnuta pak zůstala myšlenka o vlivu bioturbace na krajinné úrovni, která prožívá svou renesanci teprve nyní v podobě prací publikovaných na sklonku minulého a začátku tohoto století.

Osud myšlenek Darwinovy práce naznačuje, že naše poznání nemusí být nutně lineární proces, v němž se nové poznatky vrství na stará stávající poznání, některé poznatky jsou rozpracovávány rychleji a intenzivněji než jiné, které naopak mohou být zcela zapomenuty a znovuobjevovány. O osudu těchto poznatků mohou spolurozhodovat metodické obtíže, spojené se studiem jednotlivých směrů, ale možná i určitá módnost a chytlavost témat, která mohla zapříčinit, že témata týkající se chování či lidských artefaktů (archeologie) byla rozpracována výrazně více než témata jiná.

5. Literatura

- Anderson, R.S., 2002: Modeling the tor-dotted crests, bedrock edges, and parabolic profiles of high alpine surfaces of the Wind River Range, Wyoming, *Geomorphology* 46, pp. 35-58
- Armour-Chelu, M.; Andrews, P., 1994: Some Effects of Bioturbation by Earthworms (Oligochaeta) on Archeological Sites. *Journal of Archeological Science* 21, pp. 433-443
- Barrington, R. M., 1884: On the Absence of Earthworms from the Prairies of the Canadian North-West. *Nature* 29, pp. 237
- Blanchart, E.; Albrecht, A.; Brown, G.; Decaens, T.; Duboisset, A.; Lavelle, P.; Mariani, L.; Roose, E., 2004: Effects of tropical endogenic earthworms on soil erosion. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104, pp. 303-315
- Brown, G.G.; Feller, C.; Blanchart, E.; Deleporte, P.; Chernyanskii, S.S., 2003: With Darwin, earthworms turn intelligent and become human friends. *Pedobiologia* 47, pp. 924 – 933
- Butt, K.R.; Lowe, C.N.; Beasley, T.; Hanson, I.; Keynes, R., 2008: Darwin's revisited. *European Journal of Soil Biology* 44, pp. 255-259
- Canti, M.G., 2003: Earthworm Activity and Archeological Stratigraphy: A Review of Products and Processes. *Journal of Archeological Science* 30, pp. 135-148
- Christy, R.M., 1884: On the Absence of Earthworms from the Prairies of the Canadian North-West. *Nature* 29, pp. 406-407
- Crossley, D.A., 1985: Earthworm ecology: from Darwin to Vericulture - Review. *Ecology* 66, pp. 312
- Crist, E., 2002: *The Cognitive Animal: Empirical and Theoretical Perspectives on Animal Cognition*. Cambridge: The MIT Press, 482 pp.
- Curry, J.P.; Byrne, D.; Schmidt, O., 2002: Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *European Journal of Soil Biology* 38, pp. 127-130
- Curry, J.P.; Schmidt, O., 2007: The feeding ecology of Earthworms – A review. *Pedobiologia* 50, pp. 463 – 477

- Darwin, C., 1881: *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observations on their Habits*. First Edition, 10th October 1881, London: John Murray, Reprint November 2007 by Geraldine Murfin-Shaw, 151 pp.
- Darwin, C., 1837: On the formation of mould. *Proceedings, Geological society of London* 2, pp. 574-575
- Darwin, F., 1887: *The Life and Letters of Charles Darwin, including an autobiographical chapter*. Volume II, London: John Murray
- Dennison, R., 1993: Using Darwin's Experimental Work To Teach the Nature of Science. *American Biology Teacher* 55, pp. 50-53
- Drummond, H., 1888: *Tropical Africa*. First Edition 1888, Reprint 2005, 248 pp.
- Edwards, C.A., 2004: *Earthworm Ecology*. Second edition, London: CRC Press LCC, 441 pp.
- Edwards, C.A.; Bohlen, P.J., 1996: *Biology and ecology of earthworms*. Third edition, London: Chapman & Hall, 426 pp.
- *Ekologický slovník pro státní správu*, (Bejček-Šťastný et al. 2000 „Extrakce žížal“, str. 40-42), <http://fle.czu.cz/~landa/SLOVNIKY/EKO/E/E-Q-Z.PDF>
- Ernst, A., 1889: The Formation of Ledges on Mountain-Slopes and Hill-Sides. *Nature* 39, 415-416 pp.
- Feller, C.; Brown, G.G.; Blanchart, E.; Deleporte, P.; Chernyanski, S.S., 2003: Charles Darwin, earthworms and the natural science various lessons from the past to the future. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99, pp. 29 – 49
- Forsdyke, D.R., 2001: Romanes, George John. *Encyclopedia of Life Sciences*. DOI: 10.1038/npg.els.0002466
- Frouz, J.; Pižl, V.; Tajovský, K., 2007: The effect of earthworms and other saprophagous macrofauna on soil microstructure in reclaimed and un-reclaimed post-mining sites in Central Europe. *European Journal of Soil Biology* 43, pp. 184-189

- Frouz, J.; Pižl, V.; Cienciala, E.; Kalčík, J., 2009: Carbon storage in post-mining forest soil, the role of tree biomass and soil bioturbation. *Biogeochemistry*, Roč. 94, č. 2, pp. 111-121
- Gaisler, J.; Zima, J., 2007: *Zoologie obratlovců*. Praha: Academia 2007, 692 pp.
- Graber, V., 1884: Grundlinien zur Erforschung des Helligkeits und Farbensinnes der Thiere. Praha a Leipzig, (in Hess 1924) – nečetla
- Grant, W.C., 1955: Earthworm Breeding Farms, *American Association for the Advancement of Science* 121, pp. 107-108
- Grave, P.; Kealhofer, L., 1999: Assessing Bioturbation in Archeological Sediments using Soil Morphology and Phytolith Analysis. *Journal of Archeological Science* 26, pp. 1239-1248
- Hess, W. N., 1924: Reactions to light in the earthworm, *Lumbricus terrestris* L., *Journal of Morphology and Physiology* 39, pp. 515-539
- Hesse, R., 1894: *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie* 58, pp. 394-439, (in Hess 1924) – nečetla
- Hendrix, P.F., 1995: *Earthworm ecology and biogeography in North America*, Boca Raton: CRC Press, 244 pp.
- Hoffmeister, W., 1845: Die bis jetzt bekannten Arten aus der Familie der Regenwürmer. *Braunschweig*, pp. 43
- Humphreys, G. S.; Wilkinson, M. T., 2007: The soil production function: A brief history and its rediscovery. *Geoderma* 139, pp. 73 – 78
- Johnson, D.L., 2002: Darwin would be proud: Bioturbation, Dynamic Denudation, and the Power of Theory in Science., *Geoarchaeology: An International Journal* 17, pp. 7-40
- Keith, A., 1942: A postscript to Darwin's "Formation of vegetable mould through the action of worms. *Nature* 149, pp. 710–720
- Kellog, C.E., 1948, Conflicting Doctrines about Soils. *The Scientific Monthly* 66, pp. 475 - 478
- Lavelle, P.; Bignell, D.; Lepage, M.; Wolters, V.; Rogers, P.; Ineson, P.; Heal, O.W.; Dhillon, S., 1997. Soil function in changing world: the role of

invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology* 33, pp. 159-193

- Lovell, J., 1884: Earthworms. *Nature* 29, pp. 551
- Melvin, J. 1884: Earthworms, *Nature* 29, pp. 502 - 503
- Meysman, F.J.R.; Middelburg, J.J.; Heip, C.H.R., 2006: Bioturbation: a fresh look at Darwin's last idea, *Trends in Ecology and Evolution* 21, pp. 688-695
- Muramoto, J., 2002: Mustard Powder Vermifuge: An Alternative to Formalin Expulsion Method for Earthworm Sampling. *Edaphologia* 70, pp. 7-11
- Romanes, G.J., 1881: Book Review: Mr Darwin on the Work of Worms the Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, with Observation on their Habits. *Nature* 24, pp. 553 – 556
- Shaler, N.S., 1891: The origin and nature of soils. *U.S. Geological survey 12th Annual Report 1890-1891*, Part 1, pp. 213-345
- Simonson, R.W.; McDonald, P., 1994: Historical Soil Science Literature of the United States. In (McDonald P., Ed.) *The Literature of soil science*. Cornell University Press: Ithaca NY, 1994, pp. 379 – 434
- S.N.C., 1890: Earthworms. *Nature* 42, pp. 179 – 180
- Stewart, A. 2004: *The Earth Moved: On the Remarkable Achievements of Earthworms*. First Edition, Frances Lincoln, London, 204 pp.
- Tandarich, J. P., 2005: History of Soil Science: Early to Mid-20th Century. In (LaL R., Ed.) *Encyclopedia of Soil Science*. 2005, Second Edition, The Ohio State University: Columbus, CRC Press 2006, pp. 826-829
- Wilcox, T.E., 1884: On the Absence of Earthworms from the Prairies of the Canadian North-West. *Nature* 29, pp. 406-407
- Wilkinson, M.T.; Humphreys, G.S., 2005: Exploring pedogenesis via nuclide-based soil production rates and OSL-based bioturbation rates. *Australian Journal of Soil Research* 43, pp. 767 – 779
- Zacharias, O., 1881: Darwin's neuste Forschungen über die Thätigkeit der Regenwürmer. *Illustrierte Zeitung* 2005, pp. 495